

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**Impacto de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar en las
Propiedades Mecánicas del Concreto: Revisión Sistémica**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER
EN INGENIERÍA CIVIL**

Autores:

Leyva Cruz, Daniel Eliezer

<https://orcid.org/0000-0002-4512-7051>

Montenegro Minguillo Cesar Jeremy

<https://orcid.org/0000-0003-4869-5705>

Asesor:

Muñoz Pérez, Sócrates Pedro

<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Línea de Investigación

Tecnología e innovación en el Desarrollo de la Construcción y la Industria en
un Contexto de Sostenibilidad

Sublínea de Investigación

Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura

Pimentel – Perú

2025


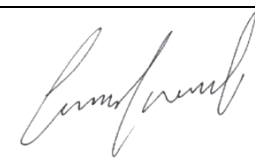
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscriben la DECLARACIÓN JURADA, somos **Daniel Eliezer Leyva Cruz** y **Cesar Jeremy Montenegro Minguillo**, del Programa de Estudios de **Ingeniería Civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

IMPACTO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO: REVISIÓN SISTÉMICA

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Leyva Cruz, Daniel Eliezer	73605807	
Montenegro Minguillo, Cesar Jeremy	74031902	

Pimentel, 26 de enero de 2025.




13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A mi familia, que siempre ha estado a mi lado y ha sido la base de todo lo que he logrado. Gracias por entender mis ausencias en momentos importantes y por celebrar cada pequeño logro como si fuera un gran triunfo. Su apoyo y ánimo me han ayudado a ver los desafíos como oportunidades, recordándome que el conocimiento no tiene valor sin amor.

A mis amigos y compañeros, artífices silenciosos de este trabajo. Su dedicación, críticas constructivas y disposición para dialogar han enriquecido cada idea y método. Este informe es un reflejo de que la ciencia se construye juntos, con humildad y confianza en el trabajo en equipo.

A la comunidad académica que me formó y a quienes me precedieron, cuyos legados iluminaron mi camino. Que estas páginas honren la tradición de buscar respuestas para, a partir de ellas, plantear nuevas preguntas.

Leyva Cruz, Daniel Eliezer

DEDICATORIA

A mi familia, quienes construyen hogar más allá de las paredes, por convertir el tiempo robado a la rutina en momentos de complicidad. Por enseñarme que la perseverancia no es solo un método científico, sino un acto de fe en lo que se ama. Su fortaleza es el latido que equilibra la razón con la humanidad.

A mi compañero de investigación, un ejemplo de profesionalismo y creatividad. A cada uno de ustedes, que aportaron su conocimiento, desde el análisis detallado hasta nuevas perspectivas ante los problemas. Este logro es un conjunto de voces y disciplinas, prueba de que la excelencia surge de la diversidad y el respeto mutuo.

A nuestra institución universitaria que nutre esta labor, a las comunidades científicas que exigen rigor y generosidad, y a la sociedad, que es el destino final de todo conocimiento, recordándome que investigar es, en esencia, un acto de servicio.

Montenegro Minguillo, Cesar Jeremy

AGRADECIMIENTO

Agradecemos, en primer lugar, a nuestras familias, pilares de resiliencia y comprensión. A quienes respetaron las largas horas de trabajo, las conversaciones interrumpidas por ideas urgentes y los silencios cargados de reflexión. Su apoyo incondicional no solo hizo posible este proyecto, sino que nos recordó que detrás de cada logro hay redes de amor y sacrificio compartido.

A nuestros colegas y amigos, gracias por su colaboración y por enriquecer este trabajo con sus ideas y críticas constructivas. Su compromiso y profesionalismo han sido una fuente constante de inspiración, y juntos hemos creado un ambiente de trabajo que fomenta la creatividad y el aprendizaje.

Finalmente, agradecemos a todos aquellos que, de alguna manera, han contribuido a este proyecto. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en este trabajo, recordándonos que el conocimiento se construye en comunidad.

Los Autores

ÍNDICE

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	6
<i>Resumen</i>	8
<i>Abstract</i>	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. METODOLOGÍA DE REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA	10
A. <i>Planificación de la revisión</i>	10
B. <i>Preguntas de investigación</i>	11
C. <i>Cadenas de búsqueda</i>	11
D. <i>Bases de datos</i>	11
E. <i>Ejecución de la revisión</i>	12
F. <i>Evaluación de la calidad de los estudios</i>	12
G. <i>Criterios de inclusión</i>	12
H. <i>Criterios de exclusión</i>	12
I. <i>Selección de los estudios primarios</i>	12
J. <i>Documentación de los estudios primarios</i>	13
III. RESULTADOS	13
A. <i>RQ 1: ¿Qué propiedades mecánicas del concreto se ven afectadas por la adición de SCBA?</i>	13
B. <i>RQ 2: ¿Qué metodologías y técnicas experimentales se utilizan para evaluar el impacto de la SCBA en el concreto?</i>	16
C. <i>RQ 3: ¿Cuáles son las proporciones óptimas de SCBA para mejorar las propiedades del concreto?</i>	18
D. <i>RQ 4: ¿Qué beneficios sostenibles presenta el uso de SCBA en la industria del concreto, en términos de durabilidad y resistencia?</i>	19
IV. CONCLUSIONES.....	20
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	21

Impacto de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar en las Propiedades Mecánicas del Concreto: Revisión Sistémica

Daniel Eliezer Leyva Cruz^a, Cesar Jeremy Montenegro Minguillo^a

^aEscuela Profesional de Arquitectura, Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.

Resumen

La ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA), un subproducto generado por la industria azucarera se ha presentado como una opción sostenible para mejorar las características mecánicas del concreto. Este artículo ofrece una revisión exhaustiva de la literatura disponible sobre la incorporación de SCBA en mezclas de concreto, enfocándose en su efecto sobre propiedades fundamentales como la resistencia a la compresión, la tracción y la durabilidad del material. A través del análisis de múltiples estudios, se identifican los factores clave que afectan el rendimiento del concreto, tales como la cantidad de ceniza utilizada, el tipo de cemento empleado y las condiciones de curado. Los resultados indican que al adicionar SCBA podemos provocar un incremento notable en la resistencia mecánica y una mejora en la durabilidad del concreto, posicionándose como un material valioso en la búsqueda de soluciones sostenibles en la construcción. En particular, la utilización de SCBA puede ayudar a mitigar problemas como la reacción álcali-sílice (ASR), que puede afectar la integridad del concreto a lo largo del tiempo. Además, se enfatiza que este material promueve un modelo de economía circular al minimizar el desperdicio agrícola y disminuir la huella de carbono generada por la producción de cemento. Este estudio subraya la necesidad de seguir investigando el uso de SCBA para optimizar su aplicación en la construcción, promoviendo prácticas más sostenibles y eficientes que beneficien tanto al sector de la construcción como al medio ambiente.

Palabras clave: *Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar, Propiedades Mecánicas, Durabilidad, Reacción Álcali-Sílice, Sostenibilidad.*

Abstract

Sugar cane bagasse ash (SCBA), a byproduct generated by the sugar industry, has emerged as a sustainable option for improving the mechanical characteristics of concrete. This article provides a comprehensive review of the available literature on the incorporation of SCBA in concrete mixtures, focusing on its effect on fundamental properties such as compressive strength, tensile strength, and material durability. Through the analysis of multiple studies, key factors affecting the performance of concrete are identified, such as the amount of ash used, the type of cement employed, and the curing conditions. The results indicate that adding SCBA can lead to a notable increase in mechanical strength and an improvement in the durability of concrete, positioning it as a valuable material in the search for sustainable solutions in construction. In particular, the use of SCBA can help mitigate issues such as alkali-silica reaction (ASR), which can compromise the integrity of concrete over time. Additionally, it emphasizes that this material promotes a circular economy model by minimizing agricultural waste and reducing the carbon footprint generated by cement production. This study underscores the need for further research on the use of SCBA to optimize its application in construction, promoting more sustainable and efficient practices that benefit both the construction sector and the environment.

Keywords: *Sugar Cane Bagasse Ash, Mechanical Properties, Durability, Alkali-Silica Reaction, Sustainability.*

I. INTRODUCCIÓN

El creciente énfasis mundial en la sostenibilidad ha ejercido una presión significativa sobre la industria de la construcción para que adopte materiales y métodos respetuosos con el medio ambiente [1]. El cemento, un componente clave del concreto, es responsable de una parte sustancial de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO_2), contribuyendo aproximadamente al 9% del total [2], [3]. Este reto medioambiental ha impulsado a investigadores y profesionales de la industria a explorar materiales alternativos que puedan disminuir la emisión de CO_2 en la producción de concreto manteniendo o mejorando su rendimiento. Entre estas alternativas, las SCBA, un subproducto de la industria azucarera y del etanol, han surgido como un prometedor material cementante suplementario (SCM) [1], [2], [3].

El SCBA se genera quemando bagazo de caña de azúcar, un residuo fibroso que queda tras extraer el jugo de los tallos de la caña; lo cual ha sido utilizado como fuente de combustible, fertilizante o simplemente se ha desechado en vertederos [4]. Sin embargo, su incorporación a la producción de concreto no sólo resuelve los problemas de gestión de residuos, sino que también contribuye a reducir la dependencia del cemento Portland tradicional, debido a que, es apreciado por sus propiedades puzolánicas, derivadas de su alto contenido en sílice y su estructura amorfa [5], [6]. Cuando se mezcla con cemento, el SCBA reacciona con el hidróxido de calcio en presencia de agua para formar hidrato de silicato de calcio (CSH) adicional, el principal compuesto responsable de la resistencia y durabilidad del concreto [5].

La actividad puzolánica del SCBA está fuertemente influenciada por su composición química y sus características físicas. Los estudios han demostrado que el SCBA suele contener entre un 60% y un 75% de sílice, la mayor parte de la cual se encuentra en una forma amorfa propicia para las reacciones puzolánicas [5]. Estas reacciones mejoran la matriz del concreto rellenando huecos, reduciendo la porosidad y mejorando la microestructura [6], [7]. También se

destaca la importancia de las técnicas de procesamiento, como la molienda y la calcinación, para maximizar la reactividad puzolánica del SCBA [8], [9]. La molienda reduce el tamaño de las partículas, aumentando su superficie y facilitando una mejor interacción con las partículas de cemento, por su parte, la calcinación controlada optimiza las condiciones de combustión, reduciendo los residuos de carbono y aumentando el contenido de sílice amorfa, crucial para su reactividad [10].

La incorporación de SCBA en las formulaciones de concreto ha demostrado mejoras significativas en las propiedades mecánicas [11], [12]. Los estudios experimentales muestran sistemáticamente que la sustitución parcial del cemento por SCBA, normalmente entre el 10% y el 20%, mejora la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión [11], [12], [13], [14]. Esta mejora se atribuye a la formación de CSH adicionales y a la optimización de la estructura porosa, lo que da lugar a una matriz más densa y cohesiva.

En muchos estudios se ha determinado que el uso de SCBA como sustituto del cemento en un 10% es óptimo, ya que ofrece el mejor equilibrio entre resistencia y trabajabilidad [11], [12], [13], [14], [15], [16]. Niveles de sustitución superiores, como el 15% o el 20%, pueden mejorar aún más ciertas propiedades de durabilidad, pero pueden requerir ajustes en el diseño de la mezcla para mantener la trabajabilidad [15], [16]. Además, se ha evidenciado que la SCBA ayuda a prevenir problemas asociados con la ASR, un evento que puede causar la expansión y formación de grietas en el concreto a lo largo del tiempo.

El concreto mezclado con SCBA también ha mostrado una durabilidad superior en condiciones ambientales adversas [17]. Su menor permeabilidad mejora la resistencia a la penetración de iones cloruro, la carbonatación y el ataque de sulfatos, factores clave para prolongar la vida útil de las estructuras de concreto, a su vez, la permeabilidad reducida también minimiza la entrada de agua, protegiendo de la corrosión el acero de refuerzo del concreto [10], [13]. Los beneficios de la durabilidad son especialmente relevantes en infraestructuras expuestas a entornos

marinos o industriales agresivos.

Además, el SCBA reduce la ASR, un fenómeno que puede comprometer la integridad del concreto [18]. Al consumir el exceso de hidróxido de calcio y rellenar los micro vacíos, el SCBA reduce el entorno reactivo dentro del concreto, mitigando la expansión y el agrietamiento.

Los beneficios medioambientales del uso de SCBA en la producción de concreto son sustanciales [8], [19], [20]. La fabricación de cemento es uno de los procesos industriales más intensivos en carbono, y sustituirlo por SCBA puede reducir significativamente las emisiones de CO₂, al reutilizar un subproducto agrícola que de otro modo contribuiría a los residuos, el SCBA se alinea con los principios de la economía circular, promoviendo la eficiencia de los recursos y la sostenibilidad [19]. Además, el SCBA reduce el consumo de materias primas naturales utilizadas en la fabricación de cemento, tales como la piedra caliza y la arcilla.

Desde el punto de vista económico, la utilización de SCBA permite ahorrar costes, sobre todo en las regiones donde predomina la producción de caña de azúcar y el bagazo está fácilmente disponible [19], [21], [22]. Reduce la necesidad de eliminar residuos y constituye una alternativa de bajo coste a los materiales cementantes tradicionales.

A pesar de sus ventajas, la adopción generalizada del SCBA en la producción de concreto se enfrenta a varios retos. La calidad y el rendimiento del SCBA pueden variar significativamente en función de factores como el tipo de caña de azúcar, las condiciones de combustión y los métodos de procesamiento [18], [22]. El establecimiento de protocolos estandarizados para el procesamiento y el control de calidad de los subproductos agrícolas en el concreto es esencial para garantizar un rendimiento uniforme.

Además, aunque los estudios de laboratorio han demostrado las ventajas del concreto mezclado con ERA, es necesario seguir investigando para evaluar su rendimiento a largo plazo en aplicaciones reales. Deben evaluarse exhaustivamente factores como la exposición a

condiciones ambientales variables, la capacidad de carga y la integridad estructural a lo largo del tiempo.

Ante la problemática expuesta, este documento tiene como finalidad llevar a cabo una revisión sistemática de la literatura (RSL) acerca de la incorporación de SCBA como un aditivo en las mezclas de concreto. Esta revisión busca proporcionar información relevante que facilite la aplicación de este aditivo en la construcción actual, y cómo se alinea con la búsqueda de prácticas que beneficien tanto a la industria de la construcción como al entorno natural, impulsando un desarrollo más ecológico y eficiente del sector.

II. METODOLOGÍA DE REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

La RSL es un enfoque fundamental que facilita la evaluación e interpretación de los diversos hallazgos de una investigación, abordando las posibles inconsistencias y determinando su reproducibilidad [23]. Este proceso implica realizar una búsqueda exhaustiva de estudios relacionados con un tema específico, integrar de manera sistemática los resultados obtenidos y llevar a cabo una evaluación crítica sobre la amplitud, la naturaleza y la calidad de las evidencias en relación con una pregunta de investigación [23], [24].

Utilizamos la técnica de RSL con el objetivo de identificar y analizar las diferentes metodologías empleadas en estudios sobre la incorporación de SCBA en mezclas de concreto. Por lo cual, este proceso se basa en tres fases:

A. *Planificación de la revisión*

Es fundamental para definir la exigencia de investigar el impacto de la SCBA en las características mecánicas del concreto e identificar las técnicas empleadas en la evaluación experimental. Por lo tanto, en la planificación de esta revisión se llevarán a cabo las siguientes acciones:

- *Diseño de las preguntas de investigación:* Se desarrollarán preguntas que guíen la revisión y enfoquen los hallazgos hacia las

- propiedades relevantes del concreto.
- *Formulación de cadena de búsqueda:* Se establecerán términos y combinaciones que faciliten la búsqueda de investigaciones relevante en las bases de datos.
- *Elección de las bases de datos:* Fuentes que contengan estudios relevantes sobre concreto y la SCBA, asegurando la calidad y rigor de la información recopilada.
- *Definición de criterios de inclusión y exclusión:* Se definirán los criterios que determinarán qué estudios se incluirán en la revisión y cuáles no.

B. Preguntas de investigación

Debido a que nos centramos en estudiar los efectos de la SCBA en las características mecánicas del concreto. A partir de esta necesidad, se formulan y definen las siguientes preguntas de investigación:

- RQ 1: ¿Qué propiedades mecánicas del concreto se ven afectadas por la adición de SCBA?
- RQ 2: ¿Qué metodologías y técnicas experimentales se utilizan para evaluar el impacto de la SCBA en el concreto?
- RQ 3: ¿Cuáles son las proporciones óptimas de SCBA para mejorar las propiedades del concreto?
- RQ 4: ¿Qué beneficios sostenibles presenta el uso de SCBA en la industria del concreto, en términos de resistencia y durabilidad?

C. Cadenas de búsqueda

Para garantizar que el proceso de búsqueda esté alineado con las preguntas de investigación planteadas, hemos adoptado un enfoque sistemático que prioriza la relevancia de los términos en relación con el tema de estudio. Por ello, se diseñarán múltiples cadenas de búsqueda. Estas cadenas se formarán mediante la combinación de palabras clave y operadores booleanos.

Tabla 1:
Estrategia de Búsqueda

Palabras Clave	Cadena de Búsqueda
Sugar Cane Bagasse Ash	
Mechanical Properties	Impact AND "Sugar Cane Bagasse Ash" AND
Concrete	"Mechanical Properties"
Durability	AND Concrete AND
Strength	(Durability OR Strength)

D. Bases de datos

Para llevar a cabo nuestra revisión, seleccionamos repositorios de datos reconocidos en el campo de la ingeniería y que ofrecen acceso a investigaciones de alta calidad. Nos enfocamos en bibliotecas digitales que cuentan con una extensa colección de artículos revisados por pares, lo que garantiza la validez y la relevancia de la información. Esta selección nos permitirá obtener una base sólida de estudios sobre el impacto de la SCBA en las características mecánicas del concreto, asegurando que nuestra revisión esté respaldada por fuentes confiables y pertinentes. Por lo cual se tiene en consideración las bibliotecas digitales de:

- Science Direct
- MDPI
- Taylor & Francis
- IEEE Xplore
- Springer
- Wiley
- IOP Science

Teniendo en cuenta el mecanismo de búsqueda de cada repositorio, optimizamos nuestras consultas utilizando los filtros disponibles que ofrecen estas plataformas. Esto nos permitió afinar los resultados según criterios relevantes, como el idioma, la fecha de publicación y/o el tipo de documento, asegurando el acceso a estudios más pertinentes y actualizados; mejorando así la eficiencia de nuestras búsquedas, y garantizando que la literatura revisada fuera de alta calidad y

directamente relacionada con el tema de investigación.

E. Ejecución de la revisión

Definimos una estrategia de búsqueda metódica y sistemática para la selección de estudios primarios relacionados con el impacto de la SCBA en las propiedades mecánicas del concreto. A través de búsquedas avanzadas en siete fuentes de datos seleccionadas, se identificaron un total de 483 estudios relevantes. Para ser considerados en esta revisión, los estudios debían cumplir con criterios específicos que garantizaran su relevancia y calidad en relación con nuestro enfoque de investigación.

F. Evaluación de la calidad de los estudios

Una vez obtenidos los estudios de las fuentes de datos elegidas, realizamos una evaluación exhaustiva de sus características para determinar la calidad de los estudios primarios. Esta evaluación se basó en nuestros criterios de inclusión y exclusión, que consideraban aspectos como el diseño experimental, la relevancia de los resultados, y la robustez de los métodos utilizados. Solo aquellos estudios que completaron satisfactoriamente estos criterios fueron incluidos en la revisión, asegurando así la validez y fiabilidad de los hallazgos discutidos.

G. Criterios de inclusión

- CI1: Estudios que presentan investigaciones sobre las propiedades mecánicas del concreto con la adición de SCBA.
- CI2: Términos de búsqueda incluidos en el título, resumen y palabras clave relacionados con SCBA, concreto y propiedades mecánicas.
- CI3: Estudios publicados entre 2019 y 2024.
- CI4: Estudios en idioma inglés.
- CI5: Estudios que son artículos científicos.

H. Criterios de exclusión

- CE1: Resultados que provienen de libros o capítulos de libros.

- CE2: Estudios que no son de acceso abierto y que no están disponibles como artículos de texto completo.
- CE3: Estudios que no indican en su título, resumen o palabras clave que analizan las propiedades mecánicas del concreto con SCBA.
- CE4: Resultados repetidos en diferentes fuentes.

I. Selección de los estudios primarios

La selección de estudios primarios consistió en una serie de pasos basados en los criterios de inclusión y exclusión y tuvo el siguiente orden:

- P1: Realizar la búsqueda inicial de literatura, utilizando los criterios de inclusión (CI1, CI2).
- P2: Aplicar un filtro para obtener únicamente resultados de publicaciones entre 2019 y 2024, y en idioma inglés (CI3, CI4).
- P3: Descartar resultados provenientes de libros y capítulos de libros (CE1).
- P4: Excluir estudios que no sean de acceso abierto y que no estén disponibles como artículos de texto completo (CE2).
- P5: Filtrar estudios que no estén directamente relacionados con el impacto de la SCBA en las características mecánicas del concreto (CE3).
- P6: Aplicar criterios de exclusión para descartar resultados duplicados (CE4).

Tabla 2:
Aplicación de Criterios a los Resultados de la Búsqueda

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
IEEE Xplore	18	8	7	3	1	1
ScienceDirect	145	125	82	19	12	10
Springer Link	55	51	28	14	9	7
Wiley	15	11	7	3	3	2
MDPI	10	9	7	5	5	4
IOPScience	188	142	59	34	8	5
Taylor and Francis	70	27	18	14	6	4

La Tabla 2 presenta los resultados obtenidos luego de todo el proceso de selección de estudios que analizan el efecto de la SCBA en las propiedades mecánicas del concreto. A medida que se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, se observó una reducción en la cantidad de estudios en cada etapa del proceso. Al finalizar este proceso, se obtuvo un total de 33 estudios primarios que cumplen con los criterios establecidos para esta revisión.

J. Documentación de los estudios primarios

Con el objetivo de utilizar de manera efectiva la información recopilada, se llevó a cabo un análisis de viabilidad y variación en los estudios revisados. La información obtenida se organizó en un contenido analítico principal, donde se extrajo la idea central de cada artículo, los procedimientos experimentales aplicados y los resultados relevantes. Finalmente, se estructuró la información de manera que se integraron los diversos resultados de los estudios, facilitando así la comparación y evaluación de los efectos de la SCBA en las propiedades mecánicas del concreto.

III. RESULTADOS

La SCBA representa una gran cantidad de desechos generados por la industria azucarera, y su disposición inadecuada puede tener consecuencias ambientales significativas. En respuesta a este creciente problema de residuos, se ha incrementado el interés en la aplicación de la SCBA como material de construcción sostenible. Este enfoque no solo aborda la gestión de desechos, sino que también promueve la economía circular al reutilizar un subproducto que de otro modo podría representar una carga para el medio ambiente.

A. RQ 1: ¿Qué propiedades mecánicas del concreto se ven afectadas por la adición de SCBA?

La incorporación de SCBA como un

sustituto parcial del cemento en las mezclas de concreto se ha estudiado ampliamente, revelando efectos significativos sobre diversas propiedades mecánicas.

Los estudios han demostrado que la adición de SCBA puede mejorar la resistencia a la compresión del concreto, especialmente a niveles óptimos de sustitución. [25] indicó que la sustitución del 5% del cemento Portland ordinario (OPC) por SCBA dio lugar a un aumento de la resistencia a la compresión en comparación con las mezclas de control. Del mismo modo, [26], [27], [28] informaron de que una sustitución del 10% del cemento con SCBA produjo resistencias a la compresión comparables a las del concreto convencional, lo que sugiere que el SCBA puede contribuir eficazmente a la resistencia del concreto cuando se utiliza juiciosamente.

Sin embargo, la relación entre el contenido de SCBA y la resistencia a la compresión no es lineal. Los estudios han demostrado que mientras que los porcentajes bajos (5-10%) de SCBA pueden mejorar la resistencia, los porcentajes más altos (por encima del 20%) pueden conducir a una disminución de la resistencia a la compresión debido a la insuficiencia de material cementante para unir los agregados de manera efectiva [26], [27].

Este fenómeno se atribuye al aumento de la porosidad y a la reducción de la densidad de la matriz de concreto cuando se utiliza un exceso de SCBA [29]. La adición de SCBA también influye positivamente en la resistencia a la tracción del concreto. [31], [32], [33] descubrieron que una sustitución del 10 % del cemento por SCBA mejoraba la resistencia a la tracción por división, lo que es crucial para las aplicaciones estructurales en las que prevalecen las fuerzas de tracción. Además, los estudios han demostrado que el nivel óptimo de sustitución para maximizar la resistencia a la tracción suele coincidir con el de la resistencia a la compresión, normalmente en torno al 10 % [32], [33].

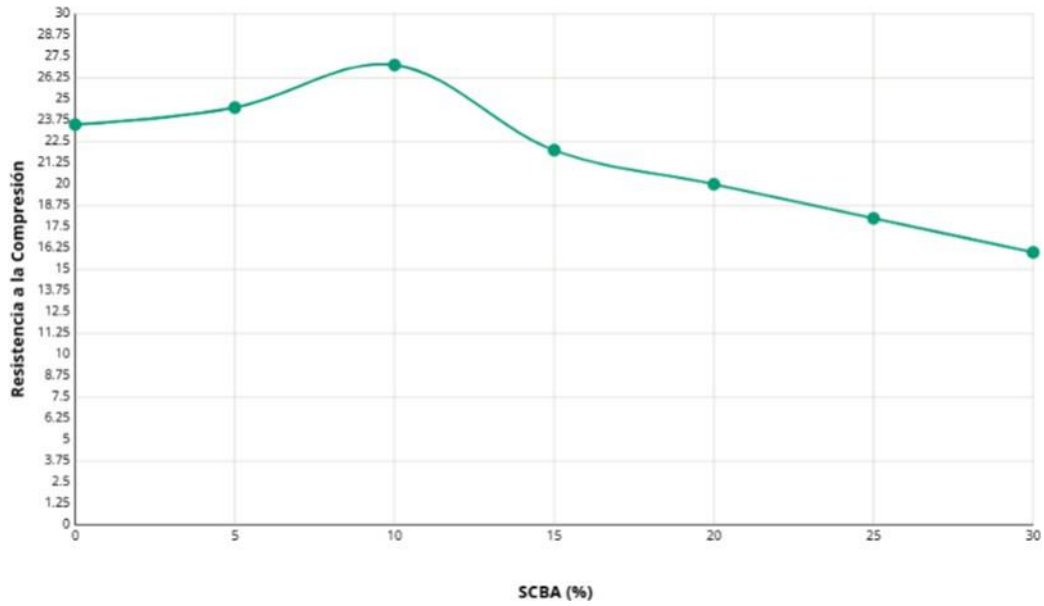


Fig. 1: Efecto de las SCBA en la resistencia a la compresión de la mezcla de concreto.

La mejora de la resistencia a la tracción puede atribuirse a la actividad puzolánica del SCBA, que contribuye a la formación de CSH adicionales que mejoran la unión entre los áridos y la matriz de cemento[5]. Este efecto es

particularmente beneficioso en aplicaciones como pavimentos rígidos, donde la resistencia a la tracción es crítica para resistir el agrietamiento y la deformación [28], [31].

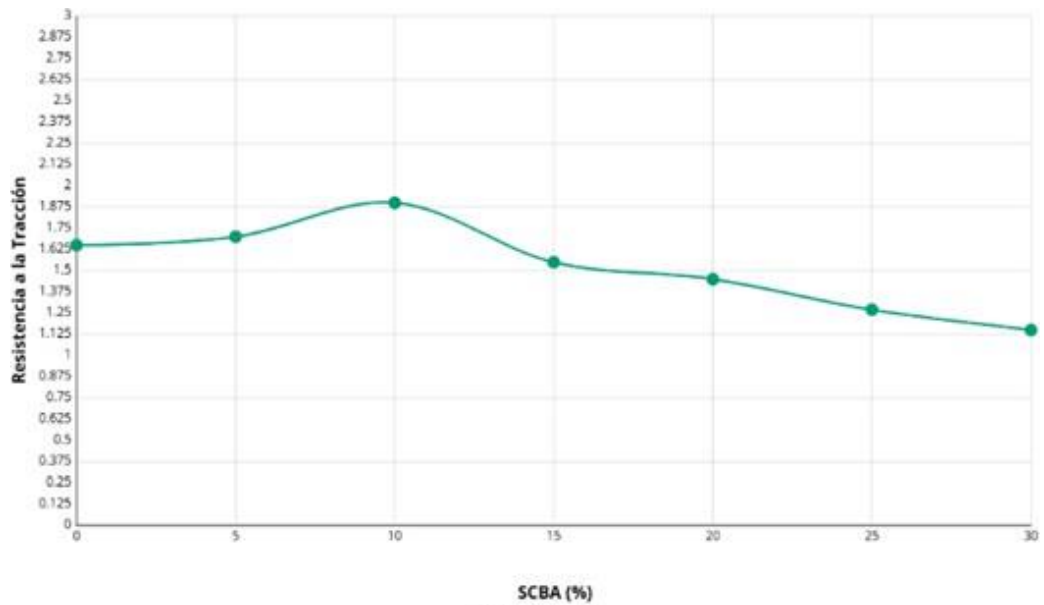


Fig. 2: Efecto de las SCBA en la resistencia a la tracción de la mezcla de concreto.

La resistencia a la flexión, otra propiedad mecánica vital, se ve afectada de forma similar por la incorporación de SCBA. Las investigaciones indican que la adición de SCBA puede mejorar la resistencia a la flexión del concreto, especialmente

a niveles de sustitución más bajos. Los estudios han demostrado que una sustitución del 5-10% del cemento con SCBA puede conducir a mejoras significativas en la resistencia a la flexión [25], [29]. Esta mejora se debe probablemente a la

microestructura mejorada y a las propiedades de adherencia impartidas por la reacción puzolánica del SCBA, que contribuye a una matriz de concreto más densa y cohesiva.

No obstante, al igual que ocurre con las resistencias a la compresión y a la tracción, un

contenido excesivo de SCBA puede provocar una reducción de la resistencia a la flexión. Esta reducción suele estar relacionada con el aumento de la porosidad y la menor densidad del concreto, lo que compromete su capacidad para soportar fuerzas de flexión [26], [32], [33].

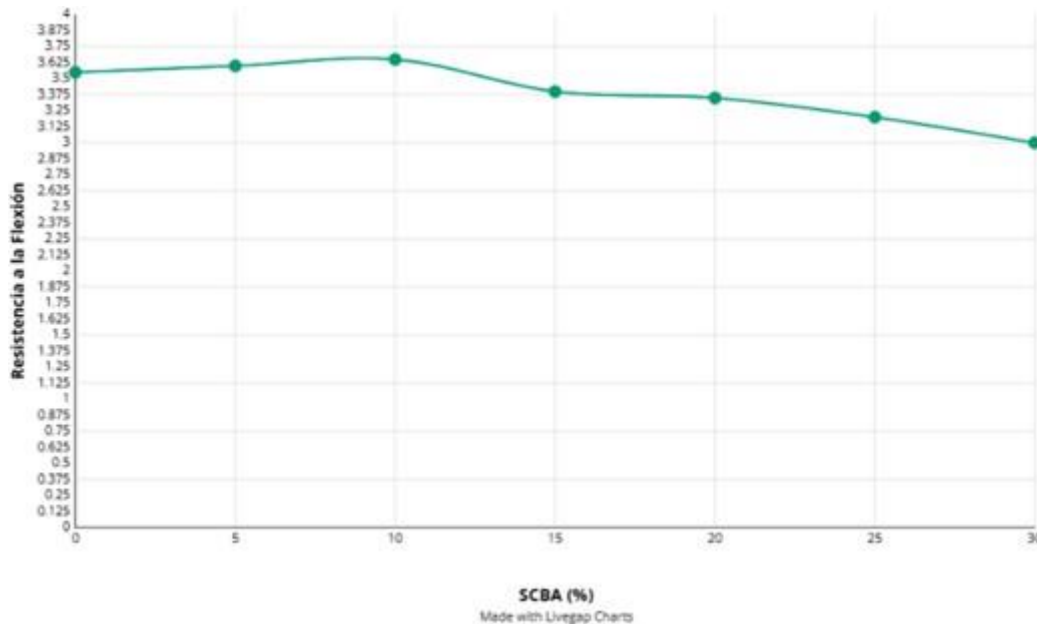


Fig. 3: Efecto de las SCBA en la resistencia a la flexión de la mezcla de concreto.

La trabajabilidad de las mezclas de concreto es un factor crítico que influye en su comportamiento durante la mezcla, el transporte y la colocación. La adición de SCBA puede afectar a la trabajabilidad del concreto, con estudios que informan de resultados variables en función del contenido de SCBA. En general, los porcentajes más bajos de SCBA (hasta el 10%) tienden a mejorar la trabajabilidad debido al tamaño de partícula fino de la ceniza, que puede mejorar la fluidez de la mezcla [27], [33].

A pesar de ello, porcentajes más altos de SCBA pueden conducir a una reducción de la trabajabilidad, principalmente debido a la mayor demanda de agua de la mezcla. Esto es particularmente evidente cuando el SCBA reemplaza una porción significativa del cemento, donde la trabajabilidad disminuye con un mayor contenido de SCBA [29]. Para mitigar este problema, se ha recomendado el uso de superplastificantes para mantener una trabajabilidad adecuada sin comprometer las

propiedades mecánicas del concreto [28].

La durabilidad del concreto es primordial para su longevidad y rendimiento en diversas condiciones ambientales. Se ha demostrado que la incorporación de SCBA mejora la durabilidad del concreto, especialmente en términos de resistencia a los ataques químicos y a la retracción. Las investigaciones indican que el SCBA puede mejorar la resistencia del concreto a la penetración de iones de cloruro, lo que es crucial para las estructuras expuestas a ambientes salinos [5].

Además, la actividad puzolánica del SCBA contribuye a reducir la permeabilidad y mejorar las propiedades microestructurales, lo que conduce a una mayor durabilidad frente a agentes agresivos [5], [30]. Los estudios también han destacado que el concreto con SCBA presenta menores tasas de contracción, lo que puede reducir la probabilidad de agrietamiento y deformación con el tiempo [28], [32].

La incorporación de SCBA como reemplazo parcial del cemento en el concreto tiene

un impacto notable en sus propiedades mecánicas. Los niveles óptimos de sustitución (normalmente en torno al 5-10%) pueden aumentar las resistencias a la compresión, tracción y flexión, al tiempo que mejoran la trabajabilidad y la durabilidad. Sin embargo, un contenido excesivo de SCBA puede tener efectos adversos, lo que subraya la importancia de un diseño cuidadoso de la mezcla y la consideración de los requisitos específicos de la aplicación. La investigación futura deberá seguir explorando el rendimiento a largo plazo y los beneficios medioambientales del SCBA en el concreto, estableciendo aún más su papel como alternativa sostenible en la industria de la construcción.

B. RQ 2: ¿Qué metodologías y técnicas experimentales se utilizan para evaluar el impacto de la SCBA en el concreto?

El impacto de las SCBA sobre las propiedades mecánicas del concreto ha sido ampliamente estudiado utilizando una variedad de metodologías y técnicas experimentales.

Antes de evaluar el impacto de las SCBA en el concreto, los investigadores suelen empezar por una caracterización exhaustiva de las propias cenizas. Esto incluye la determinación de su composición química, propiedades físicas y actividad puzolánica. Estudios mencionan que un alto contenido de sílice en SCBA, es crucial para sus propiedades puzolánicas [30], [34], [35]. Técnicas como la fluorescencia de rayos X (XRF) y la difracción de rayos X (XRD) se utilizan habitualmente para analizar la composición mineralógica y la estructura cristalina del SCBA [26], [36]. Además, se emplea la microscopía electrónica de barrido (SEM) para observar la morfología de las partículas de SCBA, que puede influir en la densidad de empaquetamiento y la reactividad del material [37].

El diseño experimental de las mezclas de concreto que incorporan SCBA varía ampliamente entre los estudios. Los investigadores suelen sustituir un determinado porcentaje de cemento por SCBA, que suele oscilar entre el 5% y el 30%, para evaluar sus efectos sobre las propiedades mecánicas del concreto [37], [38], [39]. Algunos

estudios también exploran el uso de SCBA como sustituto parcial de los áridos finos, evaluando su impacto sobre la trabajabilidad y la resistencia [40], [41], [42]. Las mezclas de control suelen diseñarse con OPC como base de comparación.

La trabajabilidad es un factor crítico en el rendimiento del concreto, y se realizan varias pruebas para evaluar esta propiedad. El ensayo de asentamiento se utiliza habitualmente para medir la consistencia de las mezclas de concreto fresco [36]. Otros métodos, como la prueba de mesa de flujo y la prueba de túnel en V, se emplean para evaluar la fluidez del concreto autocompactante (SCC) que contiene SCBA [43], [44]. Estos ensayos ayudan a determinar cómo afecta la inclusión de SCBA a la facilidad de colocación y compactación del concreto.

El propósito central de la mayoría de las investigaciones es analizar las características mecánicas del concreto, abarcando aspectos como la resistencia a la compresión, la tracción y la flexión. Pruebas estandarizadas como la prueba de resistencia a la compresión (ASTM C39) y la prueba de resistencia a la tracción por división (ASTM C496) son ampliamente utilizadas [34], [36], [39], [40]. Los resultados indican sistemáticamente que la incorporación de SCBA puede mejorar la resistencia a la compresión, especialmente a niveles óptimos de sustitución [34], [42]. Los estudios han demostrado que la sustitución de hasta el 20% del cemento por SCBA puede conducir a mejoras significativas en la resistencia a la compresión debido a la formación de CSH adicional durante la hidratación [37], [42], [44].

Además de las propiedades mecánicas, los investigadores también evalúan la durabilidad del concreto que contiene SCBA. Suelen realizarse pruebas de penetración de iones cloruro, absorción de agua y resistencia al ataque de sulfatos [38]. El uso de SCBA se ha relacionado con la reducción de la entrada de cloruros, lo que aumenta la longevidad de las estructuras de concreto armado [36], [37], [38]. Los que han utilizado métodos colorimétricos basados en AgNO₃ han demostrado que el SCBA puede disminuir significativamente la profundidad de penetración del cloruro en el concreto [36], [37].

Las investigaciones microestructurales son cruciales para comprender los mecanismos que subyacen a las mejoras observadas en las propiedades del concreto. Se emplean técnicas como el SEM y la espectroscopia de energía dispersiva (EDS) para analizar la microestructura de las mezclas de concreto que contienen SCBA [26]. Estos análisis revelan la formación de una microestructura más densa con tamaños de poro más finos, atribuida a las reacciones puzolánicas entre el SCBA y el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento [38], [45]. La relación Ca/Si y la presencia de gel CSH se examinan a menudo para correlacionar los cambios microestructurales con el rendimiento mecánico.

Las metodologías y técnicas experimentales utilizadas para evaluar el impacto

de las SCBA en el concreto son diversas y exhaustivas. Desde la caracterización del material hasta las pruebas mecánicas y el análisis microestructural, los investigadores emplean una serie de enfoques para dilucidar los beneficios de las SCBA como material cementante suplementario. Los resultados de los diversos estudios indican que el SCBA no solo potencia las características mecánicas del concreto, sino que también juega un papel importante en su durabilidad, lo que lo hace una alternativa factible para las prácticas de construcción sostenible. La investigación futura deberá seguir explorando el rendimiento a largo plazo y los beneficios medioambientales de la utilización de SCBA en aplicaciones de concreto.

Tabla 3:
Métodos clave, aspectos evaluados y técnicas utilizadas para evaluar el impacto de la SCBA en el concreto

Método/Técnica	Descripción	Propósito/Resultados
Caracterización de SCBA	Análisis químico y físico de la ceniza, incluyendo contenido de sílice.	Determinar propiedades puzolánicas y evaluar efectividad en mezclas.
Fluorescencia de Rayos X (XRF)	Técnica para analizar la composición química.	Identificar proporciones de elementos como sílice, alúmina, etc.
Difracción de Rayos X (XRD)	Análisis de la estructura cristalina del SCBA.	Comprender la mineralogía del SCBA y su impacto en las propiedades.
Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	Observación de la morfología de las partículas de SCBA.	Evaluar la reactividad y densidad de empaquetamiento del material.
Diseño Experimental de Mezclas de Concreto	Sustitución de cemento por SCBA en proporciones (5%-30%).	Analizar efectos sobre la resistencia mecánica y trabajabilidad.
Prueba de Asentamiento	Medición de la consistencia de mezclas de concreto fresco.	Evaluar la trabajabilidad del concreto que contiene SCBA.
Prueba de Resistencia a la Compresión (ASTM C39)	Evaluación de la resistencia a la compresión de mezclas.	Determinar mejoras en la resistencia mecánica del concreto.
Prueba de Resistencia a la Tracción por División (ASTM C496)	Medida de la resistencia a la tracción.	Analizar la tenacidad del concreto con SCBA.
Pruebas de Durabilidad	Incluyen pruebas de penetración de iones cloruro y resistencia al ataque de sulfatos.	Evaluar la longevidad del concreto expuesto a condiciones ambientales adversas.
Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS)	Análisis microestructural para examinar la composición elemental.	Correlacionar la microestructura con el rendimiento mecánico.

C. *RQ 3: ¿Cuáles son las proporciones óptimas de SCBA para mejorar las propiedades del concreto?*

La incorporación de SCBA como material cementante suplementario en el concreto ha suscitado gran interés debido a su potencial para mejorar las propiedades mecánicas y promover al mismo tiempo prácticas de construcción sostenibles.

Numerosos estudios han establecido que el nivel óptimo de sustitución de SCBA por cemento suele oscilar entre el 10% y el 20%. [26], [36] demostraron que una sustitución del 10% del cemento por SCBA producía un notable aumento de la resistencia a la compresión, alcanzando valores superiores a los de la mezcla de control. Esta mejora se atribuye a la actividad puzolánica del SCBA, que reacciona con el hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento para formar CSH adicional, la fase aglutinante primaria en el concreto [45], [46].

En este sentido, [47], [48] informaron de que las mezclas de concreto que contenían un 10% de SCBA mostraban un aumento de la resistencia a la compresión de aproximadamente el 16,5% en comparación con las mezclas de control. Sin embargo, a medida que el contenido de SCBA aumentaba por encima del 20%, se observaba una disminución de la resistencia a la compresión. Las mezclas con 25% y 30% de SCBA mostraron una resistencia reducida debido a la insuficiente disponibilidad de hidróxido de calcio para reaccionar con el exceso de sílice presente en el SCBA, que entonces actuó como un relleno inerte en lugar de contribuir a la resistencia [49], [50], [51].

La resistencia media a la flexión del concreto con un 10% de SCBA aumentaba un 3,8%, mientras que proporciones superiores, como el 30%, sólo daban lugar a un aumento del 7,7% [26], [36]. Esto sugiere que, si bien el SCBA puede mejorar las propiedades de tracción, cantidades excesivas pueden obstaculizar el rendimiento

debido a la dilución de los materiales cementantes.

Además de la resistencia mecánica, se ha estudiado ampliamente la durabilidad del concreto que contiene SCBA. Se ha demostrado que la incorporación de SCBA mejora la resistencia a la penetración de iones de cloruro, que es fundamental para la longevidad de las estructuras de concreto armado. [45], [50] descubrieron que el SCBA reducía significativamente la profundidad de penetración del cloruro, lo que se atribuye a que las partículas más finas del SCBA rellenan los huecos de la matriz del concreto, disminuyendo así la permeabilidad.

Además, el contenido óptimo de SCBA para mejorar la durabilidad se cita a menudo entre el 10% y el 20%. Los estudios han demostrado que más allá de este rango, los beneficios disminuyen y el concreto puede volverse más susceptible a la degradación ambiental debido al aumento de la porosidad [49], [50], [51].

Las investigaciones microestructurales mediante técnicas como la SEM y la XRD han permitido comprender mejor los mecanismos que subyacen a las mejoras observadas en las propiedades del concreto. [26], [36] observaron que la incorporación de SCBA conducía a una microestructura más densa con tamaños de poro refinados, lo que se correlaciona con un mejor rendimiento mecánico. El análisis de la relación Ca/Si indicó que los niveles óptimos de SCBA (hasta el 15%) facilitaron la formación de CSH secundario, mejorando la capacidad aglutinante del concreto [45], [51].

La proporción óptima de SCBA para mejorar las características mecánicas del concreto se encuentra entre el 10% y el 20% como sustituto del cemento. Este rango no sólo maximiza la resistencia a la compresión y a la tracción, sino que también mejora la durabilidad frente a la penetración de cloruros. Superar estas proporciones tiende a producir rendimientos decrecientes, debido principalmente a la naturaleza inerte del exceso de SCBA y a la menor disponibilidad de hidróxido de calcio reactivo.

Tabla 4:
Proporciones Óptimas de SCBA en la Mezcla de Concreto

Proporción de SCBA (%)	Resistencia a la Compresión (%)	Resistencia a la Flexión (%)	Durabilidad (penetración de Cloruros)	Observaciones
0	Control (Referencia)	Control (Referencia)	Control (Referencia)	Propiedades base sin SCBA
10	Aumento del 16.5%	Aumento del 3.8%	Mejora en la resistencia a la penetración de cloruros	Óptimo para balance entre resistencia y trabajabilidad
15	Mejora adicional	No especificado	Mejora notable en durabilidad	Favorece formación de CSH secundario, pero requiere ajustes de mezcla
20	Estabilidad de resistencia	Aumento moderado	Beneficios en durabilidad, pero límite superior	Superar este nivel puede disminuir efectividad
25	Disminución de resistencia	Disminución ligera	Aumento de porosidad	SCBA actúa como material inerte
30	Disminución significativa	Aumento modesto	Más susceptible a degradación	Exceso de SCBA impide reacción con Ca (OH) ₂

D. *RQ 4: ¿Qué beneficios sostenibles presenta el uso de SCBA en la industria del concreto, en términos de durabilidad y resistencia?*

La utilización de SCBA en la industria del concreto presenta importantes beneficios sostenibles, especialmente en la mejora de las propiedades mecánicas del concreto, al tiempo que aborda las preocupaciones medioambientales asociadas a la eliminación de residuos [19], [20], [52].

El SCBA es reconocido por sus propiedades puzolánicas, que contribuyen al desarrollo de la resistencia del concreto. Según [53], el SCBA contiene un alto porcentaje de sílice, que reacciona con hidróxido de calcio en presencia de agua para formar un gel adicional de CSH, un componente clave responsable de la resistencia del concreto. Esta reacción puzolánica no sólo aumenta la resistencia a la compresión, sino que también mejora la durabilidad del concreto. Algunos estudios han demostrado que la

incorporación de CSH puede dar lugar a un aumento de la resistencia a la compresión de hasta el 14,50% cuando se sustituye el 10% del cemento por CSH [54]. Esto es especialmente beneficioso en regiones donde la producción tradicional de cemento es costosa y grava el medio ambiente.

La producción de OPC es una fuente importante de emisiones CO₂, un factor clave en el calentamiento global. Sustituyendo una parte del cemento por SCBA, la cantidad de emisiones de CO₂ en la producción de concreto puede reducirse sustancialmente. Las investigaciones indican que el uso de SCBA como sustituto parcial del cemento puede reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 80% en comparación con la producción de cemento convencional [53]. Esto se alinea con los objetivos globales de sostenibilidad, haciendo del SCBA una alternativa atractiva en la búsqueda de materiales de construcción más ecológicos.

Además de la resistencia mecánica, se ha demostrado que el SCBA mejora las propiedades térmicas del concreto. La incorporación de SCBA resulta en una disminución de la conductividad térmica, lo que mejora las propiedades aislantes del

concreto [55]. Esto resulta particularmente beneficioso en áreas con climas extremos, ya que puede generar un ahorro en los costos de energía tanto para la calefacción como para la refrigeración de los edificios. La naturaleza ligera del SCBA también contribuye a una reducción de la densidad general del concreto, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en las que el peso es una preocupación [52], [56].

Se ha comprobado que el SCBA reduce la absorción de agua en el concreto, lo que es crucial para mejorar la durabilidad de las estructuras expuestas a la humedad [56]. La reducción de la porosidad y la mejora de las características microestructurales debidas a la reacción puzolánica contribuyen a una matriz de concreto más densa, minimizando así la entrada de sustancias nocivas que pueden provocar el deterioro con el paso del tiempo. Esta característica es particularmente importante en ambientes costeros y húmedos donde las estructuras de concreto son susceptibles a la corrosión.

La industria agrícola genera grandes cantidades de SCBA como subproducto de la producción de azúcar, lo que plantea importantes problemas de eliminación. La utilización de SCBA en concreto no solo proporciona una solución sostenible para la gestión de residuos, sino que también mitiga el impacto ambiental asociado a su eliminación [35]. La eliminación inadecuada del ERA puede provocar contaminación atmosférica y riesgos para la salud, como señala [54]. Mediante la reutilización de este material de desecho, la industria del concreto puede contribuir a una economía circular, reduciendo el uso de vertederos y promoviendo la eficiencia de los recursos.

La incorporación de SCBA en las formulaciones de concreto también puede suponer un ahorro de costes. El uso de residuos agrícolas como sustituto parcial del cemento puede reducir los costes de material, especialmente en regiones donde el SCBA está fácilmente disponible [52], [55]. Esta ventaja económica, combinada con las propiedades mejoradas del concreto, hace que el SCBA sea una opción atractiva para los proyectos de construcción, especialmente en los países en desarrollo donde prevalecen las limitaciones presupuestarias.

La integración de la SCBA en las formulaciones de concreto presenta una miríada de beneficios sostenibles, incluyendo propiedades mecánicas mejoradas, emisiones de carbono reducidas, rendimiento térmico mejorado y gestión eficaz de los residuos. La actividad puzolánica de la SCBA contribuye significativamente a la resistencia y durabilidad del concreto, mientras que su naturaleza ligera y sus propiedades aislantes ofrecen ventajas adicionales en aplicaciones de construcción.

Mientras la industria del concreto sigue buscando alternativas sostenibles a los materiales tradicionales, el SCBA destaca como una solución viable que se ajusta a los objetivos medioambientales y a las consideraciones económicas. La investigación futura debería centrarse en optimizar el uso del SCBA en diversas aplicaciones del concreto para aprovechar al máximo sus beneficios potenciales, al tiempo que se abordan los retos asociados a su incorporación.

IV. CONCLUSIONES

La inclusión de SCBA en cantidades de hasta un 20% en mezclas de concreto puede generar mejoras notables en sus propiedades mecánicas. Esto incluye no solo la resistencia a la compresión, sino también la resistencia a la tracción y a la flexión. Los beneficios observados se deben a la generación de CSH adicionales, así como a la densificación de la matriz del concreto, lo que contribuye a una estructura más sólida y cohesiva.

Se ha determinado que un nivel de sustitución óptimo del 10% de cemento por SCBA ofrece el mejor equilibrio entre resistencia y trabajabilidad del concreto. Aunque niveles superiores de sustitución pueden proporcionar mejoras adicionales en la durabilidad, es esencial ajustar el diseño de la mezcla para mantener la manejabilidad del hormigón.

El uso de SCBA como aditivo en el concreto contribuye a prácticas de construcción más sostenibles al reducir la dependencia del cemento Portland y disminuir las emisiones de CO₂ asociadas a la elaboración de cemento. Al reciclar un subproducto agrícola, la SCBA no solo ayuda a

gestionar residuos, sino que también fomenta la economía circular y optimiza el uso de recursos

La incorporación de SCBA también ha demostrado ser efectiva en la mitigación de problemas como la ASR, que puede comprometer la integridad del hormigón a lo largo del tiempo. Esto se debe a que la SCBA ayuda a consumir el exceso de hidróxido de calcio y rellenar los micro vacíos, lo que reduce el entorno reactivo y minimiza la expansión y el agrietamiento.

Esta revisión da una visión integral sobre el uso de SCBA como un material cementante alternativo, destacando su gran potencial para optimizar las características mecánicas del concreto y su papel en la sostenibilidad ambiental. La RSL refuerza la relevancia de la SCBA en la industria de la construcción y su capacidad para abordar tanto los desafíos de gestión de residuos como la necesidad de materiales más sostenibles.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Jagadesh, A. Ramachandramurthy, y R. Murugesan, "Processing of sugar cane bagasse ash and properties of processed sugar cane bagasse ash blended cements", *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, vol. 47, núm. 4, pp. 1–18, dic. 2022, doi: 10.1007/S12046-022-01963-7/METRICS.
- [2] A. N. Abbas, H. Al-Nealy, A. Al-Saadi, y M. Imran, "The Effect of Using Sugar-Cane Bagasse Ash as a Cement Replacement on the Mechanical Characteristics of Concrete", *Materials Science Forum*, vol. 1002, pp. 565–577, 2020, doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/MSF.1002.565.
- [3] C. K. Gupta, A. K. Sachan, y R. Kumar, "Examination of Microstructure of Sugar Cane Bagasse Ash and Sugar Cane Bagasse Ash Blended Cement Mortar", *Sugar Tech*, vol. 23, núm. 3, pp. 651–660, jun. 2021, doi: 10.1007/S12355-020-00934-8/METRICS.
- [4] M. N. Amin *et al.*, "Role of Sugarcane Bagasse Ash in Developing Sustainable Engineered Cementitious Composites", *Front Mater*, vol. 7, p. 504551, abr. 2020, doi: 10.3389/FMATS.2020.00065/BIBTEX.
- [5] G. C. Cordeiro, P. V. Andreão, y L. M. Tavares, "Pozzolanic properties of ultrafine sugar cane bagasse ash produced by controlled burning", *Heliyon*, vol. 5, núm. 10, oct. 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02566.
- [6] L. Krishnaraj y P. T. Ravichandran, "Investigation on grinding impact of fly ash particles and its characterization analysis in cement mortar composites", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 10, núm. 2, pp. 267–274, jun. 2019, doi: 10.1016/J.ASEJ.2019.02.001.
- [7] A. L. Yadav, V. Sairam, L. Muruganandam, y K. Srinivasan, "An overview of the influences of mechanical and chemical processing on sugarcane bagasse ash characterisation as a supplementary cementitious material", *J Clean Prod*, vol. 245, p. 118854, feb. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.118854.
- [8] P. G. Quedou, E. Wirquin, y C. Bokhoree, "Sustainable concrete: Potency of sugarcane bagasse ash as a cementitious material in the construction industry", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 14, jun. 2021, doi: 10.1016/J.CSCM.2021.E00545.
- [9] Q. Xu, T. Ji, S. J. Gao, Z. Yang, y N. Wu, "Characteristics and Applications of Sugar Cane Bagasse Ash Waste in Cementitious Materials", *Materials 2019, Vol. 12, Page 39*, vol. 12, núm. 1, p. 39, dic. 2018, doi: 10.3390/MA12010039.
- [10] T. A. Abdalla, D. O. Koteng, S. M. Shitote, y M. Matallah, "Mechanical and durability properties of concrete incorporating silica fume and a high volume of sugarcane bagasse ash", *Results in Engineering*, vol. 16, dic. 2022, doi: 10.1016/J.RINENG.2022.100666.

- [11] I. S. Agwa, A. M. Zeyad, B. A. Tayeh, y M. Amin, “Effect of different burning degrees of sugarcane leaf ash on the properties of ultrahigh-strength concrete”, *Journal of Building Engineering*, vol. 56, sep. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2022.104773.
- [12] M. Amin, M. M. Attia, I. S. Agwa, Y. Elsakhawy, K. A. el-hassan, y B. A. Abdelsalam, “Effects of sugarcane bagasse ash and nano eggshell powder on high-strength concrete properties”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, dic. 2022, doi: 10.1016/J.CSCM.2022.E01528.
- [13] J. da S. Andrade Neto, M. J. S. de França, N. S. de Amorim Júnior, y D. V. Ribeiro, “Effects of adding sugarcane bagasse ash on the properties and durability of concrete”, *Constr Build Mater*, vol. 266, p. 120959, ene. 2021, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120959.
- [14] L. C. de A. Mello, M. A. S. dos Anjos, M. V. V. A. de Sá, N. S. L. de Souza, y E. C. de Farias, “Effect of high temperatures on self-compacting concrete with high levels of sugarcane bagasse ash and metakaolin”, *Constr Build Mater*, vol. 248, p. 118715, jul. 2020, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118715
10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118715.
- [15] M. A. M. Rihan, R. O. Onchiri, N. Gathimba, y B. Sabuni, “Effect of sugarcane bagasse ash addition and curing temperature on the mechanical properties and microstructure of fly ash-based geopolymer concrete”, *Open Ceramics*, vol. 19, p. 100616, sep. 2024, doi: 10.1016/J.OCERAM.2024.100616.
- [16] I. Y. Hakeem, M. Amin, I. S. Agwa, M. S. Rizk, y M. F. Abdelmagied, “Effect of using sugarcane leaf ash and granite dust as partial replacements for cement on characteristics of ultra-high performance concrete”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, p. e02266, dic. 2023, doi: 10.1016/J.CSCM.2023.E02266.
- [17] M. N. Amin, A. Ahmad, K. Shahzada, K. Khan, F. E. Jalal, y M. G. Qadir, “Mechanical and microstructural performance of concrete containing high-volume of bagasse ash and silica fume”, *Scientific Reports 2022 12:1*, vol. 12, núm. 1, pp. 1–21, abr. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-08749-1.
- [18] N. Bheel, C. Kennedy, P. Awoyera, S. Sohu, y S. A. Abbasi, “Comparative Study on Mechanical Properties of Concrete Blended with *Costus englerianus* Bagasse Ash and Bagasse Fibre as Partial Replacement for Lime and Cement”, *Advances in Civil Engineering*, vol. 2022, núm. 1, p. 8900167, ene. 2022, doi: 10.1155/2022/8900167.
- [19] P. V. Andreão, A. R. Suleiman, G. C. Cordeiro, y M. L. Nehdi, “Sustainable use of sugarcane bagasse ash in cement-based materials”, *Green Mater.*, vol. 7, núm. 2, pp. 61–70, ene. 2019, doi: 10.1680/jgrma.18.00016.
- [20] P. Huang, Q. Xu, B. Huang, J. Li, y N. Wu, “Sugar Cane Bagasse Ash as an Eco-Friendly Alternative Fillers in Ultra-High Performance Concrete”, *SSRN Electronic Journal*, sep. 2022, doi: 10.2139/SSRN.4216114.
- [21] R. Seyoum, B. B. Tesfamariam, D. M. Andoshe, A. Algahtani, G. M. S. Ahmed, y V. Tirth, “Investigation on Control Burned of Bagasse Ash on the Properties of Bagasse Ash-Blended Mortars”, *Materials 2021, Vol. 14, Page 4991*, vol. 14, núm. 17, p. 4991, sep. 2021, doi: 10.3390/MA14174991.
- [22] Y. Bayapureddy, K. Muniraj, y M. R. G. Mutukuru, “Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in cement composites: strength, durability, and microstructural analysis”, *Journal of the Korean Ceramic Society*, vol. 57, núm. 5, pp. 513–519, sep. 2020, doi: 10.1007/S43207-020-00055-8/METRICS.

- [23] K. Kolaski, L. R. Logan, y J. P. A. Ioannidis, “Guidance to best tools and practices for systematic reviews”, *Systematic Reviews* 2023 12:1, vol. 12, núm. 1, pp. 1–29, jun. 2023, doi: 10.1186/S13643-023-02255-9.
- [24] T. Muka *et al.*, “A 24-step guide on how to design, conduct, and successfully publish a systematic review and meta-analysis in medical research”, *Eur J Epidemiol*, vol. 35, núm. 1, pp. 49–60, ene. 2020, doi: 10.1007/s10654-019-00576-5.
- [25] M. A. S. Anjos, T. R. Araújo, R. L. S. Ferreira, E. C. Farias, y A. E. Martinelli, “Properties of self-leveling mortars incorporating a high-volume of sugar cane bagasse ash as partial Portland cement replacement”, *Journal of Building Engineering*, vol. 32, p. 101694, nov. 2020, doi: 10.1016/J.JOBE.2020.101694.
- [26] C. K. Gupta, A. K. Sachan, y R. Kumar, “Examination of Microstructure of Sugar Cane Bagasse Ash and Sugar Cane Bagasse Ash Blended Cement Mortar”, *Sugar Tech*, vol. 23, núm. 3, pp. 651–660, jun. 2021, doi: 10.1007/S12355-020-00934-8/METRICS.
- [27] P. Mulye, “Experimental Study on Use of Sugar Cane Bagasse Ash in Concrete by Partially Replacement with Cement”, *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 9, núm. 12, pp. 616–635, dic. 2021, doi: 10.22214/IJRASET.2021.39005.
- [28] R. A. Berenguer, A. P. B. Capraro, M. H. Farias de Medeiros, A. M. P. Carneiro, y R. A. de Oliveira, “Sugar cane bagasse ash as a partial substitute of Portland cement: Effect on mechanical properties and emission of carbon dioxide”, *J Environ Chem Eng*, vol. 8, núm. 2, p. 103655, abr. 2020, doi: 10.1016/J.JECE.2020.103655.
- [29] L. Landa-Ruiz *et al.*, “Physical, Mechanical and Durability Properties of Ecofriendly Ternary Concrete Made with Sugar Cane Bagasse Ash and Silica Fume”, *Crystals* 2021, Vol. 11, Page 1012, vol. 11, núm. 9, p. 1012, ago. 2021, doi: 10.3390/CRYST11091012.
- [30] F. Batool, A. Masood, y M. Ali, “Characterization of Sugarcane Bagasse Ash as Pozzolan and Influence on Concrete Properties”, *Arab J Sci Eng*, vol. 45, núm. 5, pp. 3891–3900, may 2020, doi: 10.1007/S13369-019-04301-Y/METRICS.
- [31] N. Bheel, A. S. Memon, I. A. Khaskheli, N. M. Talpur, S. M. Talpur, y M. A. Khanzada, “Effect of Sugarcane Bagasse Ash and Lime Stone Fines on the Mechanical Properties of Concrete”, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 10, núm. 2, pp. 5534–5537, abr. 2020, doi: 10.48084/ETASR.3434.
- [32] P. Jagadesh, A. Ramachandra Murthy, y R. Murugesan, “Effect of processed sugar cane bagasse ash on mechanical and fracture properties of blended mortar”, *Constr Build Mater*, vol. 262, p. 120846, nov. 2020, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120846.
- [33] R. Berenguer *et al.*, “Durability of Concrete Structures with Sugar Cane Bagasse Ash”, *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2020, núm. 1, p. 6907834, ene. 2020, doi: 10.1155/2020/6907834.
- [34] W. E. Farrant, A. J. Babafemi, J. T. Kolawole, y B. Panda, “Influence of Sugarcane Bagasse Ash and Silica Fume on the Mechanical and Durability Properties of Concrete”, *Materials* 2022, Vol. 15, Page 3018, vol. 15, núm. 9, p. 3018, abr. 2022, doi: 10.3390/MA15093018.
- [35] P. V. Andreão, A. R. Suleiman, G. C. Cordeiro, y M. L. Nehdi, “Beneficiation of Sugarcane Bagasse Ash: Pozzolanic Activity and Leaching Behavior”, *Waste Biomass Valorization*, vol. 11, núm. 8, pp. 4393–4402, ago. 2020, doi: 10.1007/S12649-019-00721-X/METRICS.
- [36] C. K. Gupta, A. K. Sachan, y R. Kumar, “Experimental Study on Microstructural and Mechanical Behaviour of Self

- Compacting Concrete Using Agricultural Waste”, *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, vol. 47, núm. 2, pp. 925–942, abr. 2023, doi: 10.1007/S40996-022-00980-0/METRICS.
- [37] P. Jagadesh *et al.*, “Effect of processed sugarcane bagasse ash on compressive strength of blended mortar and assessments using statistical modelling”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, p. e02435, dic. 2023, doi: 10.1016/J.CSCM.2023.E02435.
- [38] S. H. Channa, S. A. Mangi, N. Bheel, F. A. Soomro, y S. H. Khahro, “Short-term analysis on the combined use of sugarcane bagasse ash and rice husk ash as supplementary cementitious material in concrete production”, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, núm. 3, pp. 3555–3564, ene. 2022, doi: 10.1007/S11356-021-15877-0/METRICS.
- [39] N. García-Troncoso, S. Hidalgo-Astudillo, K. Tello-Ayala, N. Vanegas-Alman, y D. V. Bompa, “Preparation and performance of sugarcane bagasse ash pavement repair mortars”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, p. e02563, dic. 2023, doi: 10.1016/J.CSCM.2023.E02563.
- [40] V. Torres de Sande, M. Sadique, P. Pineda, A. Bras, W. Atherton, y M. Riley, “Potential use of sugar cane bagasse ash as sand replacement for durable concrete”, *Journal of Building Engineering*, vol. 39, p. 102277, jul. 2021, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.102277.
- [41] V. Kavinkumar, A. K. Priya, R. Saravanakumar, y S. Venkatraman, “A Study of Partial Replacement for Cement by Bagasse ASH and Coarse Aggregate”, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1145, núm. 1, p. 012008, abr. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1145/1/012008.
- [42] E. Althaqafi *et al.*, “Evaluating the combined effect of sugarcane bagasse ash, metakaolin, and polypropylene fibers in sustainable construction”, *Scientific Reports 2024 14:1*, vol. 14, núm. 1, pp. 1–17, oct. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-76360-7.
- [43] A. L. Yadav, V. Sairam, K. Srinivasan, y L. Muruganandam, “Synthesis and characterization of geopolymer from metakaolin and sugarcane bagasse ash”, *Constr Build Mater*, vol. 258, p. 119231, oct. 2020, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.119231.
- [44] N. H.R. y Dr. B. R. R. Lal, “Experimental Studies on Sugar Cane Bagasse Ash based Geomaterials”, *International Journal of Engineering and Management Research*, vol. 11, núm. 5, pp. 1–3, oct. 2021, doi: 10.31033/IJEMR.11.5.1.
- [45] S. A. Memon, U. Javed, M. I. Shah, y A. Hanif, “Use of Processed Sugarcane Bagasse Ash in Concrete as Partial Replacement of Cement: Mechanical and Durability Properties”, *Buildings 2022, Vol. 12, Page 1769*, vol. 12, núm. 10, p. 1769, oct. 2022, doi: 10.3390/BUILDINGS12101769.
- [46] S. Praveenkumar, G. Sankarasubramanian, y S. Sindhu, “Strength, permeability and microstructure characterization of pulverized bagasse ash in cement mortars”, *Constr Build Mater*, vol. 238, p. 117691, mar. 2020, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.117691.
- [47] L. C. Dang, H. Khabbaz, y B. J. Ni, “Improving engineering characteristics of expansive soils using industry waste as a sustainable application for reuse of bagasse ash”, *Transportation Geotechnics*, vol. 31, p. 100637, nov. 2021, doi: 10.1016/J.TRGEO.2021.100637.
- [48] S. S. Solanke y P. Y. Pawade, “An investigation of mechanical properties of concrete by addition of sugarcane bagasse ash and steel fiber”, *J Phys Conf Ser*, vol. 1913, núm. 1, p. 012069, may 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1913/1/012069.

- [49] T. Murugesan, R. Vidjeapriya, y A. Bahurudeen, “Sugarcane Bagasse Ash-Blended Concrete for Effective Resource Utilization Between Sugar and Construction Industries”, *Sugar Tech*, vol. 22, núm. 5, pp. 858–869, oct. 2020, doi: 10.1007/S12355-020-00794-2/METRICS.
- [50] N. Bheel, S. Khoso, M. H. Baloch, O. Benjeddou, y M. Alwetaishi, “Use of waste recycling coal bottom ash and sugarcane bagasse ash as cement and sand replacement material to produce sustainable concrete”, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, núm. 35, pp. 52399–52411, jul. 2022, doi: 10.1007/S11356-022-19478-3/METRICS.
- [51] T. Falayi, “An investigation into the use of acid treated sugar cane bagasse ash-based coagulants for water treatment”, *Water Supply*, vol. 22, núm. 10, pp. 7884–7892, oct. 2022, doi: 10.2166/WS.2022.348.
- [52] A. B.O, P. J.H, y J. I, “Suitability of Sugar Cane Bagasse Ash as a Replacement for Cement in Concrete”, *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (IJASRE)*, ISSN:2454-8006, DOI: 10.31695/IJASRE, vol. 5, núm. 7, pp. 95–99, jul. 2019, doi: 10.31695/IJASRE.2019.33414.
- [53] A. A. Hussein, “Characterization of Sugar Cane Bagasse Ash: A Comparison to Densified Silica Fume and Fly Ash”, *FES Journal of Engineering Sciences*, vol. 9, núm. 3, pp. 88–93, feb. 2020, doi: 10.52981/FJES.V9I3.701.
- [54] S. A. Khawaja, U. Javed, T. Zafar, M. Riaz, M. S. Zafar, y M. K. Khan, “Eco-friendly incorporation of sugarcane bagasse ash as partial replacement of sand in foam concrete”, *Clean Eng Technol*, vol. 4, p. 100164, oct. 2021, doi: 10.1016/J.CLET.2021.100164.
- [55] N. S. Seroka, R. Taziwa, L. Khotseng, N. S. Seroka, R. Taziwa, y L. Khotseng, “Sugar Cane Bagasse Ash: An Agricultural Residue with Potential Rubber Filler Applications”, *Application and Characterization of Rubber Materials*, nov. 2022, doi: 10.5772/INTECHOPEN.108020.
- [56] I. Saad Agwa *et al.*, “A comprehensive review on the use of sugarcane bagasse ash as a supplementary cementitious material to produce eco-friendly concretes”, *Mater Today Proc*, vol. 65, pp. 688–696, ene. 2022, doi: 10.1016/J.MATPR.2022.03.264.